

ФОРМИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ПРИ ПРОГРАММИРУЕМОМ РАЗРЯДЕ ПОДОБНЫХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Петков А. А.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт",

НИПИКИ "Молния", ул. Шевченко 47, г. Харьков, 61013, Украина

тел: (057) 707-62-80, E-mail: alexp@kpi.kharkov.ua

Annotation - The enveloped points method of the maximum values for a synthesis of the switching program of similar energy capacitor storages is in-process offered. The opportunity of formation of a current positive pulse sites with a non-negative derivative is shown.

Key words - energy capacitor storage; current impulse; enveloped of the maximum values.

ВСТУПЛЕНИЕ

При испытаниях различного электротехнического и электронного оборудования, на стойкость к воздействию электромагнитных факторов естественного и искусственного происхождения, широко используются генераторы импульсов тока на базе емкостных накопителей энергии (ЕНЭ). Многообразие областей применения испытательных импульсов тока обуславливает широкую вариацию их амплитудно-временных параметров, что в свою очередь требует разработки и создания соответствующего испытательного оборудования.

Формирование испытательных импульсов тока с широкой гаммой амплитудно-временных параметров при использовании одного ЕНЭ в экономически оправданных рамках достаточно проблематично и, как показывает опыт, в крупных испытательных центрах имеется несколько ЕНЭ с различным напряжением зарядки и различной запасаемой энергией. Возможности испытательных комплексов существенно расширяются при использовании параллельного разряда нескольких ЕНЭ на общую нагрузку. При этом разряд ЕНЭ может осуществляться одновременно или со сдвигом во времени (программируемый разряд). Разряд со сдвигом во времени имеет больше возможностей для формирования различных импульсов. Однако для проектирования испытательных устройств такого класса требуется разработка специальных методов их расчета.

В литературе достаточно полно рассмотрен вопрос программируемой коммутации модулей ЕНЭ, имеющих одинаковые параметры и напряжение зарядки [1–3]. При этом для анализа переходных процессов используются специально разработанные приближенные численные методы. Описана также постановка задачи синтеза разряда произвольных емкостных накопителей на нагрузку представленную технологическим разрядным промежутком [4, 5]. Для решения этой задачи также планируется использовать численные методы, базирующиеся на задании временной зависимости тока, ее производной и интеграла.

В работе [6] автором получены рекуррентные аналитические выражения для определения значений импульса тока в нагрузке в произвольный момент времени после коммутации очередного емкостного накопителя энергии. Выражения выведены для подобных ЕНЭ, обладающих следующими свойствами: $\frac{R_n}{R_j} = \frac{L_n}{L_j} = \frac{C_j}{C_n}$, где R_n, L_n, C_n – параметры n -го ЕНЭ; R_j, L_j, C_j – параметры j -го ЕНЭ. В общем случае напряжения зарядки ЕНЭ имеют различные значения.

Материалы работы [6] является дальнейшим развитием идей предложенных в [1] и переводят решение задачи из плоскости использования численных приближенных методов в плоскость аналитического решения. Одновременно снимаются ограничения на значения напряжения зарядки ЕНЭ, и ослабляется требование к параметрам подключаемых ЕНЭ.

Однако расширение формирующих возможностей программируемой коммутации ЕНЭ за счет увеличения количества регулируемых параметров разрядной цепи объективно приводит к необходимости проведения исследований режимов работы устройств такого класса.

Целью настоящей работы является разработка метода синтеза программы коммутации комплекса подобных ЕНЭ при формировании испытательных импульсов тока различной формы.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим батарею конденсаторов, показанную на рис. 1. Батарея состоит n одинаковых модулей с параметрами

$$\begin{cases} R_1 = R_2 = \dots = R_n = R; \\ L_1 = L_2 = \dots = L_n = L; \\ C_1 = C_2 = \dots = C_n = C. \end{cases} \quad (1)$$

Каждый модуль может через индивидуальный коммутатор F_k ($k=1 \dots n$) подключаться к активнo-индуктивной нагрузке с параметрами R_H и L_H .

В общем случае напряжения зарядки модулей могут принимать различные значения $U_{C1} \neq U_{C2} \neq \dots \neq U_{Ck} \neq \dots \neq U_{Cn}$.

Очевидно, что выбором напряжения зарядки и моментов включения коммутаторов всю батарею можно структурировать в ряд групп конденсаторов. При этом все группы могут рассматриваться как подобные ЕНЭ, так как состоят из одинаковых параллельно соединенных модулей. Максимальное количество подобных ЕНЭ равно числу модулей n (каждый ЕНЭ состоит из одного модуля).

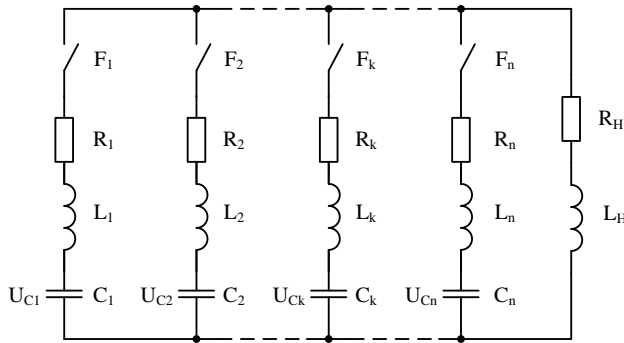


Рис. 1. Схема включения модулей батареи

В [6] показано, что при программируемой коммутации подобных ЕНЭ после подключения k -го накопителя значения импульса тока в нагрузке и время достижения его максимального значения (если таковое существует) определяются по соотношениям вида:

$$i_k(t) = \Phi(t, U_{Cj}, R_j, L_j, C_j, \Delta t_j), \quad (2)$$

$$t_{k \max} = \Phi(U_j, R_j, L_j, C_j, \Delta t_j). \quad (3)$$

где $t = T - t_k$ – текущее время, отсчитываемое от момента подключения k -го накопителя; t_k – момент подключения k -го накопителя; T – время от начала подключения первого ЕНЭ; U_{Cj}, R_j, L_j, C_j – массивы напряжения зарядки, сопротивления, индуктивности и емкости подключенных ЕНЭ, $j = 1, \dots, k$; Δt_j – массив интервалов времени между подключениями (времени сдвига); $j = 1, \dots, k-1$.

Очевидно, что, подставляя (3) в (2) можно определить величину максимального значения тока в импульсе.

Наличие соотношений (2) и (3) позволяет для синтеза программы коммутации предложить метод огибающей точек максимальных значений. Сущность метода состоит в том, что заданная форма импульса тока в нагрузке (или его участка) представляется как геометрическое место точек максимальных значений действительного разрядного тока, протекающего в нагрузке после подключения k -го ЕНЭ. Таким образом, в моменты $t_{k \max}$, определяемые по (3), значения импульса тока равны значениям, заданным огибающей

$$i_k(t_{k \max}) = i(T), \quad (4)$$

где $i_k(t_{k \max})$ – максимальное значение тока после подключения k -го ЕНЭ; $i(T)$ – заданная форма импульса тока (огибающая); $T = t_k + t_{k \max}$ – время от начала подключения первого модуля до максимального значения тока после подключения k -го ЕНЭ; $k = 1 \dots n$.

Рассмотрим возможность формирования нарастающего участка огибающей $i(T)$ с использованием предложенного метода. Для однозначности положим, что полярность включения всех модулей одинакова и ток в нагрузке имеет положительное значение.

В начальный момент ($T_1 = 0$) значение огибающей и действительной кривой импульса тока после подключения первого ЕНЭ равны нулю. Согласно условию (4) подключение второго ЕНЭ должно осуществляться в момент $T_2 = t_{1 \max}$ – максимального значения тока от первого ЕНЭ, как показано на рис. 2.

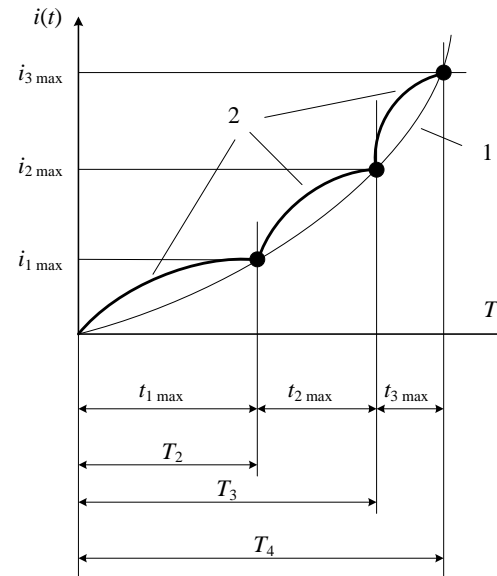


Рис. 2. Формирование нарастающего участка огибающей:

- 1 – нарастающий участок огибающей;
- 2 – действительная кривая импульса тока

Подключение третьего ЕНЭ должно осуществляться в момент $T_3 = t_{1 \max} + t_{2 \max}$ и т. д. Т.е. коммутация k -го накопителя должна осуществляться в момент

$$T_k = \sum_{j=1}^{k-1} t_{j \max}, \quad k \geq 2. \quad (5)$$

Пусть соотношение между элементами схемы, показанной на рис. 1, таково, что

$$r = R_e \sqrt{C_e / L_e} = 2, \quad (6)$$

где $R_e = R_H + R/n$; $L_e = L_H + L/n$; $C_e = nC$.